

УДК 627.8.034.9:624.131.63

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ КОМПЛЕКСУ ЗАХИСНИХ СПОРУД КАМ'ЯНСЬКОГО ПОДУ

П.Д. ХОРУЖИЙ, док. тех. наук,**В.Д. ЛЕВИЦЬКА**, аспірант

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Проаналізовано роботу комплексу захисних споруд Кам'янського Поду, що захищає від затоплення та підтоплення територію площею 6,7 тис. га з населенням близько 33 тисячі осіб, та запропоновано спосіб зниження ґрунтових вод з одночасним використанням їх у системах сільгосподопостачання і зрошення.

Ключові слова: протифільтраційна завіса, водопонижуючі свердловини, горизонтальний дренаж, водозбірна шахта, насосна станція, водопідготовка, водопостачання, краплинне зрошення

Вступ. Комплекс захисних споруд Кам'янського Поду для захисту від затоплення та підтоплення водами Каховського водосховища території площею 6,7 тисяч га з населенням близько 33 тисяч осіб, які проживають у місті Кам'янка-Дніпровська, селах Велика Знам'янка, Водяне та інших населених пунктах, був побудований у 1956 р. До його складу входять: Кам'янська (8,6 км), Знам'янська (7,2 км) та Білозерська (1,64 км) дамби, Кам'янська та Знам'янська протифільтраційні завіси із систем берегових вертикальних дренажів, що налічують відповідно 191 і 81 свердловину, компресорні станції та Білозерську насосну станцію, обладнану двома насосними агрегатами типу ОПВ-2-110 загальною продуктивністю 10 м³/с.

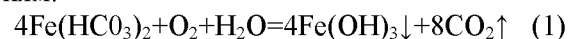
Кам'янка-Дніпровська протифільтраційна завіса (ПФЗ) має довжину 9,87 км. Вона захищає від підтоплення 4470 га земель села Водяне та 8,8 тис. будівель з населенням близько 22 тисяч осіб у м. Кам'янка-Дніпровська.

З дренажних свердловин вода забирається за допомогою ерліфтів, до яких нагнітається повітря від компресорної станції, обладнаної трьома компресорами продуктивністю 120 м³/хв кожний. Стиснуте повітря трубопроводами надходить у свердловини, кожна з яких здатна відкачувати 5-7 л/с води. [1]

Зібрана вода загальним дебітом близько 1 м³/с надходить у колектор, а з нього – у Білозерський лиман, рівень води в якому на 8,5-9 м нижче, ніж у Каховському водосховищі [2]. З лиману вода перекачується в Каховське водосховище Білозерською насосною станцією.

Основні причини незадовільної роботи споруд ПФЗ. Аналіз роботи свердловин з ерліфтною системою водовідбору [2] показав неефективність і неекономічність такої ПФЗ з таких основних причин:

1. У ґрунтових водах даного регіону залізо знаходиться у закисній формі (Fe²⁺) у кількості 0,41-3,34 мг/дм³, а при ерліфтному водопідйомі воно окиснюється при контакті з киснем повітря, що подається до свердловини, до тривалентної форми (Fe³⁺) і випадає в осад на фільтрі, прифільтровій зоні та водопідйомних трубах згідно з хімічним рівнянням:



При цьому утворюється осад з тривалентного гідроксиду заліза (Fe(OH)₃), який кольматує фільтри дренажних свердловин, значно знижуючи їхній питомий дебіт. За 8-10 років експлуатації цей дебіт зменшується удвічі, це вимагає ліквідації малodeбітних свердловин і буріння та введення в експлуатацію нових, що потребує значних капітальних витрат.

2. Ерліфти мають низький коефіцієнт корисної дії (ККД), що призводить до перевитрат електроенергії на відкачування води із дренажних свердловин.

3. Відкачувана із дренажних свердловин вода перекачується в Каховське водосховище, тобто не використовується на потреби водоспоживачів.

Актуальність проблеми. Аналіз сучасного стану захисних споруд Кам'янського Поду. Нині багато свердловин Кам'янка-Дніпровської і Знам'янської ПФЗ потребують перебудовування, оскільки зупинка роботи ПФЗ через зниження дебіту викликає різке підвищення рівня ґрунтових вод (менше 2 м

від поверхні землі), при якому створюється надзвичайна ситуація на забудованій території.

Унаслідок шкідливого впливу ґрунтових вод порушені нормальні умови життєдіяльності мешканців районного центру та сіл Водяне та Велика Знам'янка Кам'янсько-Дніпровського району. За період з 2015 р. і дотепер загальна кількість постраждалих склала більше 1500 осіб [3], які проживають на територіях, поверхня землі яких значно нижче рівня води в Каховському водосховищі.

Нині доведено, що в існуючих гідрогеолого-меліоративних умовах для забезпечення розрахункового рівня ґрунтових вод в прилеглих до Каховського водосховища територіях середній дебіт із дренажної свердловини має становити близько 7 л/с, а їхній сумарний дебіт для Кам'янка-Дніпровської ПФЗ – не менше 1350 л/с. Проте, на даний час із 275 водононижуючих свердловин задіяних двох ПФЗ із технічних причин 104 є непрацездатними, а 22 свердловини працюють з наднизькою продуктивністю (менше 2 л/с) та підлягають оновленню шляхом буріння нових свердловин. Таким чином, працездатність вказаної системи пониження рівнів ґрунтових вод складає нині фактично не більше 60 % від потреби, що не дозволяє ефективно протидіяти підтопленням. Крім того, технічний стан усіх компресорних агрегатів Кам'янської компресорної станції потребує невідкладного капітального ремонту. На цій станції із двох компресорів працездатним є лише один, що при відсутності резерву створює ризик повної зупинки роботи ПФЗ.

Починаючи з січня 2016 р. Держводагентством України було повністю припинено фінансування протиповеневої програми, що не дозволяє нормально експлуатувати ПФЗ.

Потреба у фінансуванні заходів для роботи ПФЗ. За підрахунками фахівців для сталого функціонування захисних споруд необхідно щорічно виділяти з Державного бюджету не менше 16 млн. грн. для оплати електроенергії та 10 млн.грн. для фінансування робіт із ремонту компресорних станцій, відновлення гідротехнічних споруд і свердловин, очищення дренажних каналів тощо. Оскільки відсутність проведення цих робіт упродовж двох років створює передумови до критичного підвищення рівня ґрунтових вод і виникнення надзвичайних ситуацій (руйнування

державних, комунальних та приватних будівель, затоплення земель та руйнування дамби Каховського водосховища), то 8 червня 2016 р. була прийнята постанова Кабінету Міністрів України «Реконструкція гідротехнічних споруд захисних масивів дніпровських водосховищ», яка має на меті захист 131 населеного пункту, де проживає близько 600 тисяч населення, та 197 тис. га землі. Цим інвестиційним проектом передбачено реконструкцію 300,6 км захисних дамб, 28 насосних та 3 компресорних станцій. Загальний обсяг видатків Державного бюджету на реалізацію цього проекту передбачено у сумі 1289 млн.грн. Срок реалізації – 2016-2030 рр., а відповідальним виконавцем є Держводагентство України. Реалізацію заходів здійснюватиме Дніпровське басейнове управління водних ресурсів.

Висновки з аналізу роботи діючих ПФЗ. Існуючі системи ПФЗ у зоні захисного масиву «Кам'янський Под» є ненадійними, неефективними, неекономічними та нерентабельними, оскільки вимагають великих капітальних і експлуатаційних витрат і не забезпечують тривалої стабільної роботи по захисту територій від підтоплення водами, що фільтруються через дамби Каховського водосховища.

Мета роботи

Пропозиції з покращення роботи ПФЗ. Значно покращити роботу систем можна при застосуванні таких заходів:

1. Замість вертикального дренажу з відкачуванням води з дренажних свердловин малоефективними ерліфтами застосувати горизонтальні дрени при самоплинному русі води до водозбірного колодязя [4-7].

2. Відмовитися від застосування компресорних станцій, оскільки при великих питомих витратах електроенергії на відкачування води з дренажних свердловин подача повітря у воду, що містить значну кількість закисного заліза, призводить до зменшення водопропускної здатності свердловин та необхідності їх перебудовування.

3. Дренажну воду слід відкачувати з водозбірного колодязя вискоефективними відцентровими насосами, забезпечуючи при мінімізації питомих витрат електроенергії на водопідняття розрахункові рівні ґрунтових вод, тобто надійний захист територій від підтоплення.

4. Частину відкачуваної води після відповідної підготовки слід використовувати для сільськогосподарського водопостачання,

краплинного зрошення та забезпечення потреб у воді всіх інших навколишніх споживачів, а решту подавати у Білозерський лиман.

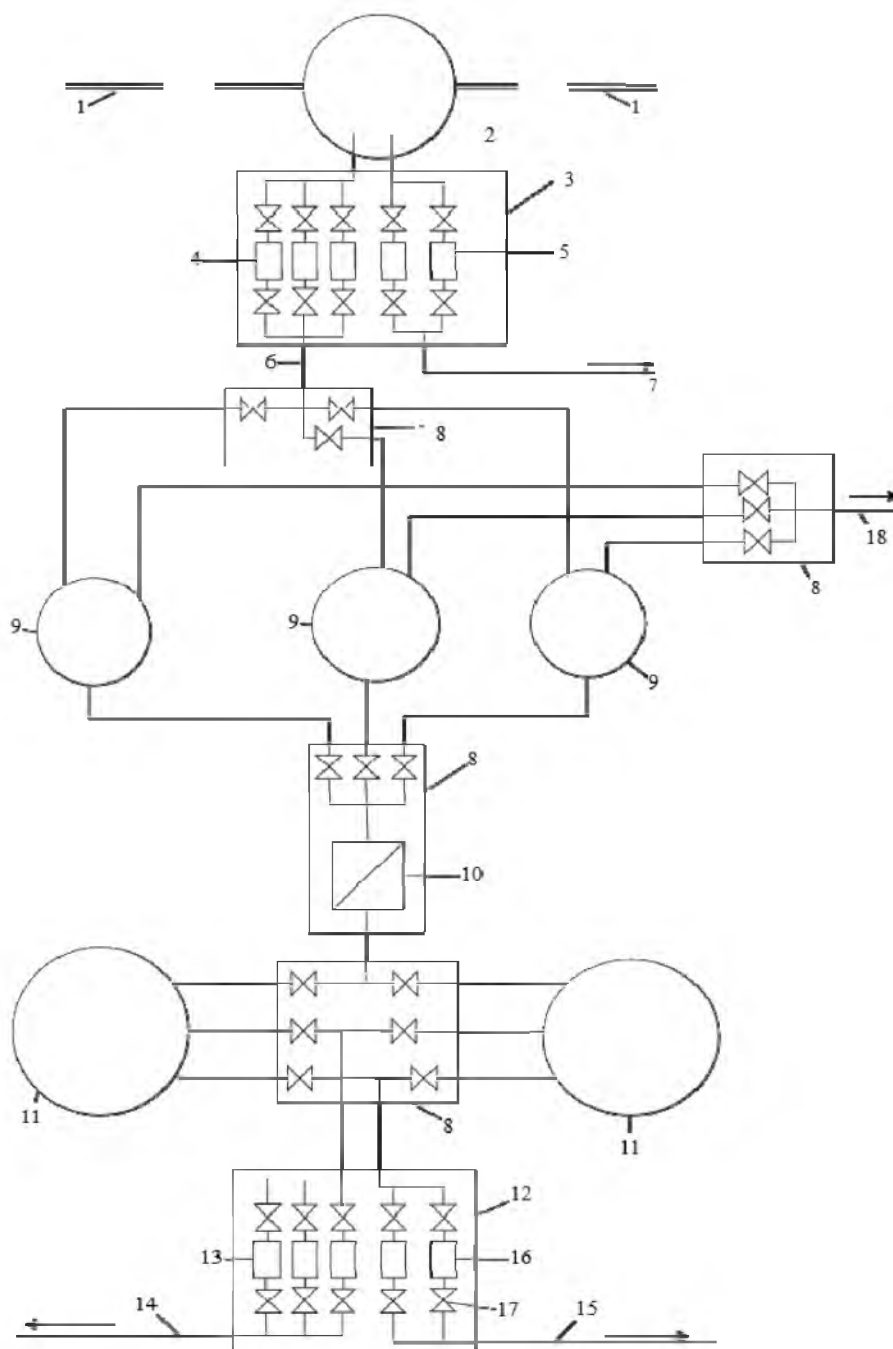


Рис. 1 Схема забору, очищення і подачі дренажних підземних вод для сільськогосподарського водопостачання та краплинного зрошення:

1 – горизонтальні дрени; 2 – водозбірний колодязь; 3 – насосна станція 1-го підняття; 4 – господарські насоси; 5 – перекачувальні насоси; 6 – подача води на очистку; 7 – подача води у водосховище; 8 – оглядові колодязі; 9 – установки для знезалізнення води; 10 – бактеріцидна установка; 11 – резервуари чистої води; 12 – насосна станція 2-го підняття; 13 – господарські та протипожежні насоси; 14 – подача води до споживачів; 15 – подача води на краплинне зрошення; 16 – насоси для подачі води для краплинного зрошення; 17 – засувки; 18 – відведення промивних вод

Методика вирішення проблеми. Запропоновані заходи можуть бути реалізовані по технологічній схемі, наведеній на рис.1. Вона включає в себе горизонтальні дрени 1, по яких притікає вода у водозбірний колодязь 2, звідти вона забирається двома групами насосів: господарськими 4 і перекачувальними 5. Господарські насоси подають воду для очищення з подальшим використанням у системах сільськогосподарського водопостачання та краплинного зрошення, а перекачувальні – для відкачування дренажних вод в необхідній кількості з метою підтримання розрахункового рівня ґрунтових вод. Бажано, щоб господарські насоси 4 забирали всю розрахункову витрату води для водопониження, тобто щоб не витратити електроенергію на роботу перекачувальних насосів 5. Господарські насоси 4 подають воду по трубопроводах у водознезалізнювальне устаткування 9, а перекачувальні насоси 5 по трубопроводу 7 перекачують воду назад у водосховище.

Вода, що подається господарськими насосами 4, очищається від заліза на знезалізнювальних установках 9 і знезараджується на бактерицидній установці 10 та накопичується у резервуарах чистої води (РЧВ) 11, звідки забирається насосною станцією другого підняття 12 і подається за призначенням на господарсько-питні чи протипожежні потреби по трубопроводу 14, а також у систему краплинного зрошення по трубопроводу 15. Управління роботою системи водопостачання здійснюється за допомогою засувки 17, що розміщується в оглядових колодязях 8.

Деякі колодязі можуть бути об'єднані між собою, як це показано на технологічній схемі водознезалізнювальної установки (рис.2).

Установка працює так: вихідна вода по трубі 14 подається до аератора 2, за допомогою якого розбризкується на дрібні крапельки, які, падаючи з висоти не менше 0,5 м, насичуються киснем повітря, що приймає участь у біохімічному окисненні розчиненого у воді бікарбонатного заліза за формулою (1). Ця реакція відбувається в біореакторі 8, де специфічні залізобактерії, що накопичуються на нитках волокнистого завантаження 9, натягнутих між колосниковими решітками 7, дуже швидко переводять двовалентне залізо Fe^{2+} у тривалентну форму, використовуючи при цьому енергію, що виділяється, для своєї життєдіяльності. Після біореактора вода рухається знизу догори через підфільтровий

простір 10 і плаваюче піностирольне завантаження 11, збирається ковпачковим дренажем 12 і по трубі 15 відводиться в РЧВ після її знезараження за допомогою бактерицидної установки 17.

Надфільтровий об'єм води 5 має такі призначення [8]:

- для виділення з води розчинених газів (переважно CO_2), щоб запобігти утворенню пухирцевої кольматації з газів пінополістирольного фільтрувального завантаження;
- для забезпечення постійної швидкості фільтрування води на фільтрі ($V_{\phi} = \text{const}$) при зміні його гідравлічного опору на протязі фільтроциклу внаслідок випадання з води забруднень шляхом підняття рівнів води в корпусі установки від Z_{\min} до Z_{\max} ;
- для протидії виштовхуючої сили плаваючого фільтрувального завантаження на перегородку 6.

В підфільтровому просторі 10 здійснюються основні процеси по очистці води:

- коагуляція малорозчинного у воді гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у крупні пластівці та накопичення його у вигляді активного мулу, що має каталітичну дію на прискорення реакції (1);
- стиснене осідання крупних пластівців заліза при висхідному русі води.

Ефективність знезалізнення води залежить від питомої брудомісткості фільтра $G_{\text{бр}}$, кг/м^2 , тобто кількості мулу в кг , що припадає на 1 м^2 фільтрувальної поверхні пінополістирольного завантаження.

Нормативна якість очищеної води знаходиться в межах від мінімальної $G_{\text{бр. min}}$ до максимальної $G_{\text{бр. max}}$ питомої брудомісткості, які залежать від конструкції фільтра, якості вихідної води і швидкості її фільтрування.

Для забезпечення величини $G_{\text{бр. min}}$ новий фільтр потрібно «заряджати», а його промивку здійснювати шляхом вимивання забруднень від $G_{\text{бр. max}}$ до $G_{\text{бр. min}}$. При корисній роботі фільтра тривалістю фільтроциклу T_{ϕ} рівень води на фільтрі змінюється від Z_{\min} (при $G_{\text{бр. min}}$) до Z_{\max} (при $G_{\text{бр. max}}$), тобто втрати напору на фільтрі за цей час зростають на величину h . Вони вимірюються дифманометром 18, після чого фільтр необхідно промивати, тобто видалити з нього надлишок забруднень

$$\Delta G_{\text{бр.}} = G_{\text{бр. max}} - G_{\text{бр. min}}, \text{ кг/м}^2 \quad (2)$$

Для цього закривають засувки 21 і 23 та відкривають засувки 20 і 22 (рис.2), внаслідок

док чого вихідна вода рухається у зворотньому напрямку по трубі 15 – ковпачковий дренаж – вниз через пінополістирольне завантаження та по скидному трубопроводу 16 в

каналізацію або мокрий колодязь.

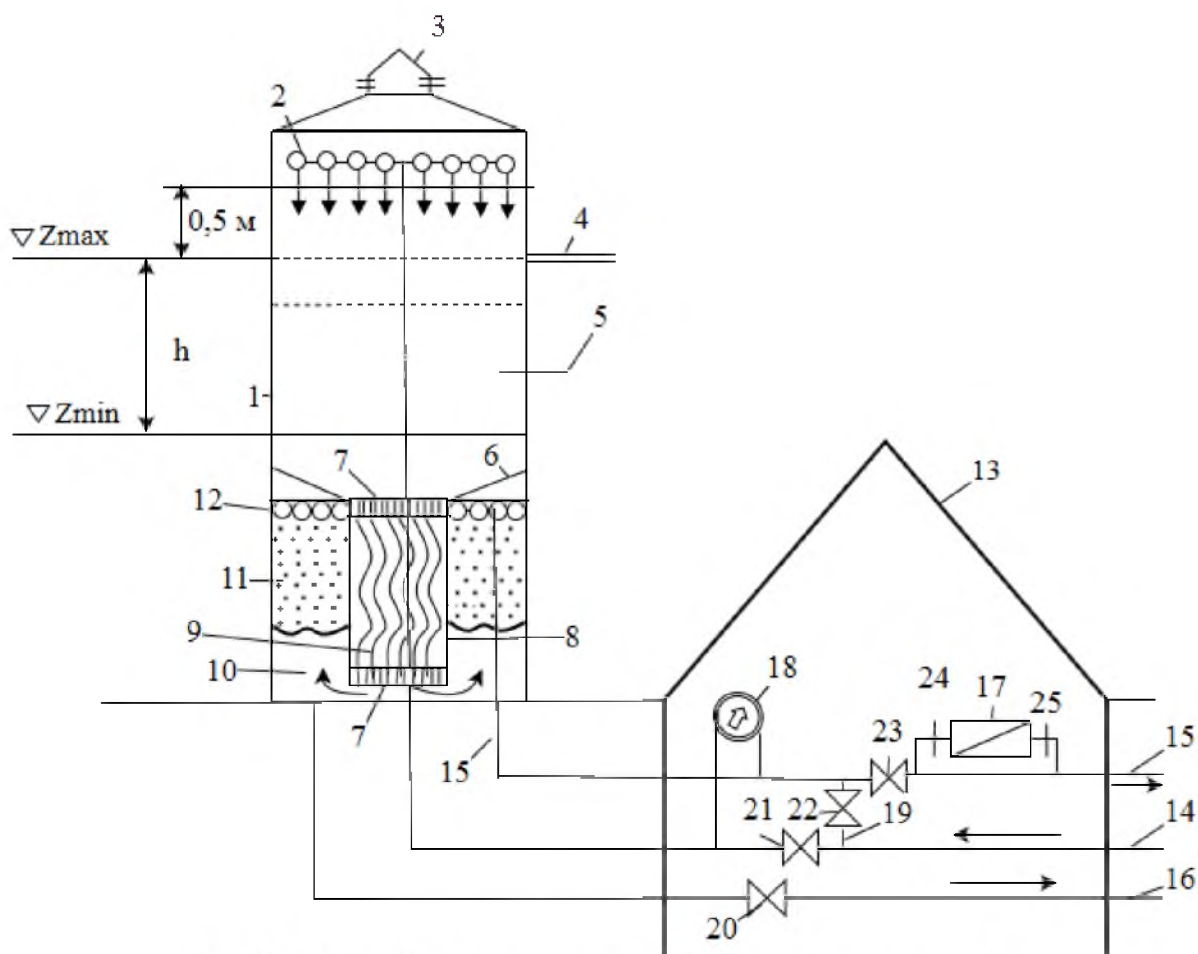


Рис. 2 Технологічна схема водознезалізнюювальної установки:

1 – корпус установки; 2 – аератор; 3 – вентиляційний кожух; 4 – переливна труба; 5 – надфільтровий об'єм води; 6 – перегородка; 7 – колосникова решітка; 8 – біореактор; 9 – волокнисте завантаження; 10 – підфільтровий простір; 11 – плаваюче пінополістирольне завантаження; 12 – ковпачковий дренаж; 13 – службове приміщення (оглядовий колодязь); 14 – подача вихідної води в РЧВ; 15 – відведення очищеної води в РЧВ; 16 – скидання промивної води; 17 – бактерицидна установка; 18 – дифманометр; 19 – подача води на промивку; 20-23 – засувки; 24-25 – вентиля

Щоб не робити «зарядки» фільтра, після промивки в ньому треба залишати активний мул величиною $G_{бр. min}$. Величина $\Delta G_{бр.}$ залежить від інтенсивності та тривалості промивки фільтра, що визначається внаслідок пусконаладжувальних робіт.

Краплинне зрошення є ключовим елементом технологій вирощування сільськогосподарських культур, а тому застосування очищених і знезаражених інфільтраційних вод у зонах підтоплення від дніпровських водосховищ для задоволення різних потреб у сільсь-

кій місцевості має велике соціальне, природоохоронне і техніко-економічне значення.

Система краплинного зрошення складається [9] із насосної станції 2, що забирає воду з РЧВ 1, засобів обліку води 3, вузла внесення добрив і хімікатів з поливною водою 4, мережі магістральних 5, розподільних 6 і поливних трубопроводів з крапельницями 7 (рис. 3).

Принцип дії системи полягає в тому, що вода під напором від насосної станції 2 поступає у магістральні 5, розподільні 6 та поливні трубопроводи з крапельницями 7, а з

них у ґрунт. Система може працювати в ручному, автоматизованому й автоматичному режимах. Вузол внесення добрив 4 призначений для подачі добрив із поливною водою,

розчинів різної концентрації для промивання, хлорування системи краплинного зрошення, а також захисту рослин та поливних водопроводів від ґрунтових шкідників.

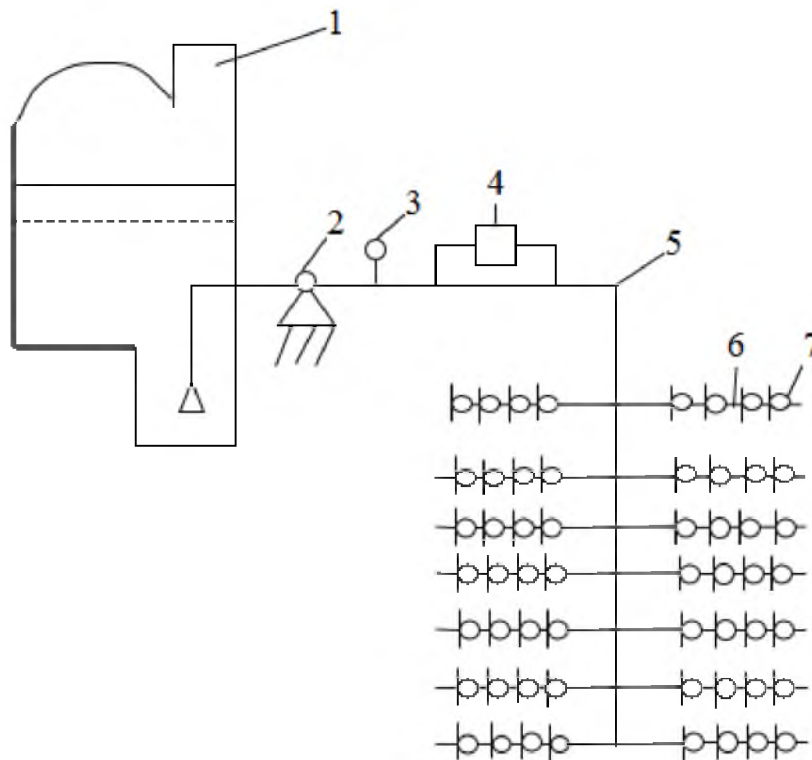


Рис. 3 Принципова схема системи краплинного зрошення

1 – резервуар чистої води; 2 – насосна станція; 3 – засоби обліку води; 4 – вузол внесення добрив і хімікатів; 5 – магістральні трубопроводи; 6 – розподільні та поливні трубопроводи; 7 – крапельниці

Висновки. Еколого-економічний аналіз сучасного стану функціонування комплексу захисних споруд Кам'янського Поду показав, що існуючі ПФЗ є ненадійними, неефективними і неекономічними. Вони вимагають великих капітальних витрат на перебудування дренажних свердловин і значних перевитрат електроенергії на відкачування води ерліфтами, що мають низький ККД. Для покращення роботи таких систем запропоновано замість дренажних свердловин застосовувати горизонтальний дренаж з відкачуванням води з водозбірного колодязя високоефективними насосами для мінімізації питомих витрат електроенергії на підняття води, частину якої доцільно використовувати після відповідної підготовки в системах водопостачання та краплинного зрошення.

Знезалізнення та знезараження відкачаної води доцільно здійснювати на безнапірних установках (рис.2), що забезпечують високу ефективність очищення води при мінімальних витратах на їх будівництво і експлуатацію.

Бібліографія

1. Вишневецький В.І. Ріка Дніпро: Наукове видання / К.: Інтерпрес ЛТД, 2011. – 384 с.
2. Хоружий П.Д., Крученко В.Д. Аналіз роботи дренажних свердловин з ерліфтною системою водовідбору // Меліорація і водне господарство. – 2004. – Вип.91. – с.209-218.
3. Віра Андрусенко, Валерій Живогляд. Якщо все буде так, як обіцяють, то ґрунтові води не будуть нам загрожувати. – Новини дня – kdr.gov.ua/news -16.06.2016 р. – 2 с.

4. Ромащенко М. Стан та проблеми вертикального дренажу в Херсонській області [М.Ромащенко, А.Шевченко, Д.Савчук та ін.] // *Водне господарство України*. – 2007 -- № 4 – с. 44-55
5. Рябцев М.П. Зависимость эффективности вертикального дренажа от стабильности работы дренажных насосных станций / Рябцев М.П. // *Водне господарство України*. – 2010 -- № 5. – с. 9-13
6. Савчук Д.П. Особливості використання вертикального дренажу / Д.П.Савчук // *Меліорація і водне господарство*. – 2013 – вип.100 – с.221
7. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Кукла І.О. Шахтний колодязь з горизонтальними дренами для забору і подачі інфільтраційних вод в зонах підтоплення сільських територій / Д.П.Хоружий, Т.П.Хомуцька, І.О.Кукла // *Меліорація і водне господарство*. – 2016. – вип. 103. с. – 16-20
8. Хоружий П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д.Хоружий, Т.П.Хомуцька, В.П.Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008 – 534 с.
9. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія [за ред. Балюка, М.І.Ромащенко, Р.С.Трускавецького]. – Херсон: Грінь Д.С., 2015 – 668 с.

П.Д. Хоружий, В.Д. Левицкая

Пути улучшения работы комплекса защитных сооружений Каменского Пода

Проанализирована работа комплекса защитных сооружений Каменского Пода, который защищает от затопления и подтопления территории площадью 6,7 тыс. га с населением около 33 тыс. и предложен способ снижения грунтовых вод с одновременным использованием их в системах сельскохозяйственного водоснабжения и орошения.

P.D. Khoruzhiy, V.D. Levytska

Ways to improve the operation of the protection facilities complex of Kamensky Pod

The operation of the protection facilities complex of Kamensky Pod is analyzed, which protects from flooding an area of 6.7 thousand hectares with the population of about 33 thousand people. The method for lowering water-table levels while using it in agricultural water supply and irrigation systems is proposed.